บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การปรับปรุงคุณภาพชา

การแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ชาคุณภาพดีจะสัมพันธ์โดยตรงกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ พันธุ์ชาเป็นปัจจัยพื้นฐานในการกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชา พันธุ์ชาสำหรับการผลิตชาเขียวและชาจีน ควรมีปริมาณแทนนินในยอดชาต่ำ (<12 - 19 %) ปริมาณโปรตีน และกรดอะมิโน ควรมีปริมาณสูงประมาณ 4-6 และ 2-4% ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ชาที่เหมาะสมสำหรับใช้แปรรูปเป็นชาฝรั่ง ควรมีปริมาณแทนนินในยอดสูง (>19%) (Takeda, 1994) จากการศึกษาของ Nillavesana and Shimonkado (1997) พบว่า ชาพื้นเมืองที่ปลูกอยู่บนเขตที่สูง มีปริมาณสารประกอบแทนนินในปริมาณสูง (>19%) สำหรับสารแทนนินมีส่วนสำคัญในการกำหนดคุณภาพของชาฝรั่งหรือชาดำ เนื่องจากสารประกอบในกลุ่มนี้จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นสาร Theaflavin (TF) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นหอมในชาที่ผ่านการหมัก และสาร Thearubigin (TR) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดสีแดงในน้ำชา ชาฝรั่งที่มีคุณภาพดีจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารประกอบทั้งสองชนิดนี้ ดังนั้น การจะแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ชาฝรั่งที่มีคุณภาพดี การปลูกและดูแลรักษา เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถส่งผลถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาได้ เนื่องจาก การดูแลที่ถูกต้องเหมาะสมจะส่งผลให้ได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดี มีปริมาณสารเคมีในยอดในระดับที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาแต่ละชนิด นอกจากนี้ปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาคือ ขั้นตอนและวิธีการแปรรูป วิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ชาแต่ละชนิดมีขั้นตอนที่แตกต่างกัน เช่น การแปรรูปชาเขียว จะต้องนำยอดชาสดมาหยุดกระบวนการทางเคมีทันที เพื่อรักษาปริมาณสารประกอบทางเคมีภายในไว้ (Tea Research Institute, 1994) ส่วนการแปรรูปชาจีน จะต้องนำยอดชามาหมักในช่วงเวลาสั้น ๆ ให้สารเคมีภายในเปลี่ยนรูปให้เกิดความหอมและมีสีของน้ำชาแดงขึ้น ส่วนการแปรรูปชาดำหรือชาฝรั่ง จะต้องปล่อยให้ยอดชามีการหมักตัวอย่างเต็มที่เพื่อเพิ่มสารประกอบที่ก่อให้เกิดสีและกลิ่นในปริมาณที่ต้องการ (เหม่ยอิง, 2541)

ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการแปรรูปชาจีนและชาฝรั่ง คือ ขั้นตอนการหมักยอดชา (สัณห์, 2535) เพราะในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีให้เกิดสารประกอบที่เกิดความหอมและสีของน้ำชาในสัดส่วนที่ต้องการ ในขั้นตอนการแปรรูปชาฝรั่งโดยทั่วไป จะมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการแปรรูป ดังนี้ นำยอดชาสด (กลุ่มพันธุ์ชาอัสสัม) ไปหมัก 14-18 ชั่วโมง ทำการตัดด้วยเครื่อง CTC แล้วนำไปอบแห้ง แต่อย่างไรก็ดี ถึงแม้จะทราบขั้นตอนการแปรรูปชาแต่ละชนิดก็ตาม แต่ในรายละเอียดขั้นตอนการแปรรูปชาแต่ละชนิดก็ยังคงเป็นความลับที่ผู้ประกอบการแต่ละรายยังปกปิดอยู่ นอกจากนี้เครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูป (เครื่อง CTC) มีราคาแพงเกินกำลังเกษตรกรรายย่อยที่จะจัดซื้อมาทำการแปรรูป การศึกษาเพื่อให้ทราบวิธีการแปรรูปชาฝรั่งโดยใช้เครื่องมือที่เกษตรกรมีอยู่เดิม หรือเครื่องจักรที่มีราคาถูกแต่สามารถผลิตชาฝรั่งให้มีรสชาติทัดเทียมกับผลิตภัณฑ์ที่ตลาดต้องการ จึงเป็นเรื่องที่จะต้องกระทำ เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกรรายย่อยที่ปลูกชาพื้นเมืองให้สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาฝรั่งที่มีคุณภาพดีออกสู่ตลาดต่อไป

ในปี 2541 สมพล นิลเวศน์และคณะ ได้ศึกษาวิธีการแปรรูปชาจีน เป็นการศึกษาเพื่อหากรรมวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ชาจีนคุณภาพดีจากการใช้ยอดชาจีนลูกผสม (ระหว่างพันธุ์ชาในกลุ่มชาจีนและชาอัสสัม) พบว่า ขั้นตอนที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปชาจีนจากยอดชาลูกผสมจำเป็นต้องปรับปรุงจากขั้นตอนการทดลองเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น โดยใช้ขั้นตอนการแปรรูป ดังนี้ เก็บยอดชาสดจากแปลงปลูกชาโดยเลือกเก็บเฉพาะยอดชาที่มี 1 ยอดตูม 2 ใบบาน (ระหว่างเวลา 8.00 – 12.00 น.) แล้วผึ่งยอดชาบนตะแกรงผึ่งชาในร่ม 8 ชั่วโมง เขย่าด้วยมือทุก 2 ชั่วโมง จากนั้นคั่วยอดชาที่ผึ่งแล้วด้วยเครื่องคั่วชาจีนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงจากนั้นนำไปอบกลิ่นโดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นประมาณ 6-7 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ชาที่ได้มีลักษณะเป็นเส้น สีเทาอมดำ กากชาเป็นใบที่สมบูรณ์ น้ำชามีสีเหลืองอมเขียว น้ำชามีกลิ่นหอมจัด มีความกลมกล่อม มีกลิ่นหอมคล้ายน้ำอ้อย รสชาติดีมาก เป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการค้าชา โดยมีระดับคะแนนรวมที่ 90 คะแนน

กรรมวิธีการแปรรูปชาฝรั่งที่พบในปัจจุบัน

กรรมวิธีที่ 1 เป็นวิธีการผลิตชาฝรั่งตามกรรมวิธีมาตรฐานสากลที่พบได้มากในโรงงานแปรรูปชนิดเดียวกันโดยกรรมวิธีจะเริ่มจากการนำยอดชาสดไปผึ่งในร่มประมาณ 18 ชม. ให้เกิดการหมักของสารเคมีในยอดชา จนเหลือความชื้นประมาณ 75%โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการตัดละเอียด แล้วนวดให้เซลใบแตกเพื่อให้สารประกอบต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลออกมาทำปฏิกิริยาเคมีกันให้เกิดการหมักของสารเคมีในยอดชา จากนั้นทำการอบแห้งจนเหลือความชื้นประมาณ 3 %

กรรมวิธีที่ 2 เป็นวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีการแปรรูปชาใบแก่ของสถานีทดลองเกษตรที่สูงแม่จอนหลวง โดยกรรมวิธีจะเริ่มจากการนำยอดชาสดมาทำการตัดหยาบ ผึ่งจนเหลือความชื้นในยอดชาประมาณ 95% ทำการคั่วจนแห้งให้เหลือความชื้นประมาณ 3 % จากนั้นนำไปตัดละเอียด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรรมวิธีที่ 3 เป็นวิธีการแปรรูปชาที่ผู้แปรรูปรายย่อยนิยมใช้นำยอดชาสดไปผึ่งแดดจนแห้งโดยให้เหลือความชื้นประมาณ10-13% ทำการตัดละเอียดแล้วนวดให้เซลใบแตก จากนั้นนำไป คั่วจนแห้งให้เหลือความชื้นประมาณ 3 %

กรรมวิธีที่ 4 เป็นวิธีการที่ดัดแปลงโดยสถานีทดลองเกษตรที่สูงแม่จอนหลวงโดยกรรมวิธีเริ่มจากนำยอดชาสดไปผึ่งในร่ม 15 ชั่วโมงจากนั้นทำการตัดหยาบ นำชาที่ผ่านการร่อนไปนวดให้เซลใบแตกสารประกอบต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลออกมาทำปฏิกิริยาเคมีกัน แล้วนำไปคั่วจนแห้งให้เหลือความชื้นประมาณ 3 % โดยน้ำหนักแล้วทำการตัดละเอียดอีกครั้ง

2.1.2 การออกแบบการทดลอง

นอกจากนั้นในการผลิตทางด้านวิศวกรรมนั้น การออกแบบการทดลองก็ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติการต่าง ๆ เช่น

การออกแบบการทดลองได้ถูกนำมาใช้งานด้านการปรับปรุงการผลิต โดยเฉพาะของกระบวนการผลิตผลิตผลทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ได้แก่ สุจินดา ศรีวัฒนะ และอิศรพงษ์ (2547) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาวิธีการเตรียมใบบัวบกก่อนการอบแห้ง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) 2 ซ้ำ (Replication) เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมใบบัวบกก่อนการอบแห้งโดย (1) ลวกน้ำร้อน 90 องศาเซลเซียส 60 วินาที แช่น้ำเย็น สะเด็ดน้ำ (2) ลวกด้วย 0.1% $NaHCO_3$ ในน้ำร้อน 90 องศาเซลเซียส60 วินาที แช่น้ำเย็น สะเด็ดน้ำ และ (3) ตัวอย่างควบคุม คือ ไม่ผ่านการลวก จากนั้น นำไปอบแห้ง บดเป็นผงแล้วนำไปวัดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ค่าความชื้น และค่าสี จากนั้นนำไปชงเป็นชา ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค (n=60) พบว่าวิธีการเตรียมที่เหมาะสมคือ นำใบบัวบกมาล้างน้ำ นวด 5 นาที ลวกด้วย 0.1% $NaHCO_3$ ในน้ำร้อน 90 องศาเซลเซียส 60 วินาที แช่น้ำเย็นทันที 5 นาที สะเด็ดน้ำ แล้วนำไปอบ โดยมีคะแนนความชอบมากที่สุดเท่ากับ 7.0 จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาการอบที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ใบบัวบกที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7 พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสใช้เวลา 50 นาที มีค่าสี L เท่ากับ 38.880 ค่าสี a เท่ากับ –2.860 ค่าสี b เท่ากับ 6.835 ที่ 60 องศาเซลเซียสใช้เวลา 45 นาที มีค่าสี L เท่ากับ 38.735 ค่าสี a เท่ากับ –3.03 ค่าสี b เท่ากับ 6.980 และที่ 70 องศาเซลเซียสใช้เวลา 25 นาที มีค่าสี L เท่ากับ 39.295 ค่าสี a เท่ากับ –3.680 ค่าสี b เท่ากับ 7.340

ในปี 2544 ชลวศา หาญวิวัฒน์ ได้ทำการวิเคราะห์เรื่องการออกแบบแผนการทดลองโดยการรวมวิธีการทากูชิ และวิธีโวลูชันนารีโอเปอเรชั่นเพื่อปรับปรุงการกำหนดค่าปัจจัยที่ดีที่สุดของกระบวนการ โดยได้เลือกศึกษาการออกแบบแผนการทดลองโดยวิธีทากูชิ เนื่องจากว่าวิธีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ทากูชิ เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมที่มีประสิทธิภาพในด้านการปรับปรุงคุณภาพวิธีหนึ่ง แต่วิธีการทากูชิยังมีข้อเสียในเรื่องของการกำหนดค่าปัจจัยที่จะเลือกจากจุดในแผนการทดลองที่ออกแบบเท่านั้นที่จะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการดีที่สุดได้ จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้นำวิธีอีโวลูชั่นนารีโอเปอเรชั่นมาใช้ในการปรับปรุงค่าปัจจัยที่ได้จากวิธีทากูชิ ไปยังจุดที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดให้มากที่สุด ซึ่งอีโวลูชั่นนารีโอเปอเรชั่นเป็นวิธีการสำหรับหาคำตอบที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์ที่วิธีอีโวลูชั่นนารีโอเปอเรชั่นสามารถปรับปรุงคำตอบที่ได้จากวิธีทากูชิและจำนวนตัวอย่าง ที่ใช้เพิ่มขึ้นด้วย พบว่าวิธีอีโวลูชั่นนารีโอเปอเรชั่นสามารถปรับปรุงคำตอบที่ได้จากวิธีทากูชิ ในตัวแบบโพลิโนเมียลกำลัง 2 3 และ 4 ได้ดีกว่าตัวแบบโพลิโนเมียลกำลัง 5 และ 6

ฐิติกา จันทร์หล้า (2542) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนแบบเบย์สำหรับตัวแบบลาตินสแควร์ โดยศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนสำหรับตัวแบบลาตินสแควร์ 2 วิธี คือ การประมาณค่าวิธีคลาสสิก (Classic Estimation) และการประมาณค่าวิธีเบย์ (Bayesian Estimation) โดยตัวแปรลาติน สแควร์ที่นำมาศึกษาคือ ตัวแบบเชิงสุ่มที่ไม่มีการทำซ้ำ การเปรียบเทียบกระทำภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ ของจำนวนระดับปัจจัยทดลองเท่ากับ จำนวนระดับปัจจัยแบ่งบล็อกทั้งสองปัจจัย (n) โดยที่สถานการณ์เป็นดังนี้ 1) n = 3 2) n = 4 และ 3) n = 5 โดยการจำลองสถานการณ์กระทำเมื่อสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation : C.V.) เป็น 5% , 15% และ 25% ผลการวิจัยสรุปได้ว่า วิธีการประมาณค่าแบบจุดขององค์ประกอบความแปรปรวนวิธีเบย์ ให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าการประมาณค่า วิธีคลาสสิกในทุกสถานการณ์ของการทดลองที่ทำการศึกษา และวิธีการประมาณค่าแบบช่วงขององค์ประกอบความแปรปรวนวิธีเบย์ ให้ค่าอัตราความผิดพลาดต่อหนึ่งการทดลองใกล้เคียงค่าความน่าจะเป็นของข้อผิดพลาดแบบที่ 1 (α = 0.01 และ 0.05) มากกว่าการประมาณค่าวิธีคลาสสิกในทุกสถานการณ์ของการทดลองที่ทำการศึกษา

ในปี 2530 ทรงศิริ แต้สมบัติ ได้ทำการวิจัยเรื่องเทคนิคการออกแบบวิเคราะห์ผลการทดลองที่หน่วยทดลองมีลักษณะที่ต่างกันในแผนการทดลองแบบต่าง ๆ โดยศึกษาผลของการทดสอบสมมุติฐาน เมื่อใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแทนการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมและศึกษาถึงประโยชน์ของการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม โดยงานวิจัยชี้ให้เห็นว่าการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแทนการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจะให้ผลการทดสอบ ความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์คลาดเคลื่อนมากโดยเฉพาะกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์อย่างแท้จริง และเสนอแนะการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดในการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมที่มีแผนการทดลองแบบต่าง ๆ และตัวแปรตามและตัวแปรร่วมมีความสัมพันธ์กันแบบต่าง ๆ

การวิจัยเรื่อง แผนการทดลองสำหรับข้อมูลของผสม โดย น้ำรินทร์ บุสวงศ์ (2540) ได้ศึกษาแผนการทดลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับข้อมูลของผสม เพื่อเป็นแนวทางในการพยากรณ์ของผสม เพื่อจะเลือกส่วนประกอบที่ดีที่สุดสำหรับของผสม ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ควรจะเป็นข้อมูลที่แสดงจำนวนสัดส่วนของส่วนประกอบของผสมที่อยู่ในรูปอัตราส่วน โดยพิจารณาข้อมูลของผสมที่มีสัดส่วนที่ไม่เป็นลบ และสัดส่วนประกอบที่เกิดขึ้นภายในของผสมจะต้องรวมกันแล้วเท่ากับ 1 โดยรูปแบบของสมการถดถอยที่ใช้ในการศึกษาจะใช้แบบจำลองแบบแคนนอนนิคอลโพลินโนเมียลโดยพิจารณาแบบจำลองที่มีอันดับต่ำ เช่นแบบจำลองอันดับหนึ่งและแบบจำลองอันดับสอง เพื่อให้สามารถทราบความสำคัญหรืออิทธิพลของส่วนประกอบแต่ละตัวที่มีผลต่อ การตอบสนองต่อของผสม ว่าส่วนประกอบใดที่มีอิทธิพลต่อของผสมมากกว่ากัน และนำไปใช้ในการเลือกส่วนประกอบที่ดีที่สุดสำหรับของผสม

ในขณะที่ วิวรรณ ปราชญ์นิวัฒน์ (2539) ได้ทำรายงานการค้นคว้าอิสระเรื่อง การวางแผนการทดลองแบบวงกลม ซึ่งการวางแผนการทดลองแบบวงกลมเป็นการวางแผนแบบบล็อกสุ่มประเภทหนึ่ง แต่เป็นการวางแผนแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ นั่นคือ บล็อกแต่ละบล็อกจะมีทรีทเมนต์ไม่ครบทุกทรีทเมนต์ การวางแผนแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ใช้แก้ปัญหาในกรณีที่การทดลองมีจำนวนทรีทเมนต์จำนวนมาก ดังนั้นการทดลองจำเป็นต้องใช้บล็อกที่มีขนาดใหญ่ทำให้การควบคุมความสม่ำเสมอภายในบล็อกทำได้ยาก จึงนิยมใช้การวางแผนแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ ซึ่งวิธีการวางแผนแบบบล็อกไม่สมบูรณ์มีหลายวิธี เช่นการวางแผนแบบแลททิช การวางแผนแบบวงกลม เป็นต้น

ในปี 2539 อรทัย ยอดนิล ได้ทำการวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลกับแผนการทดลองแบบการหมุน โดยได้ศึกษาเพื่อหาแผนแบบการทดลองที่เหมาะสมในกรณีที่ปัจจัยในแผนแบบการทดลองแบบหมุน โดยได้ศึกษาเพื่อหาแผนแบบการทดลองที่เหมาะสมในกรณีที่ปัจจัยในแผนแบบการทดลองเป็นตัวแปรต่อเนื่อง โดยทำการเปรียบเทียบแผนแบบการทดลอง 2 วิธี คือ แผนแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Experiments) กับแผนการทดลองแบบการหมุน (Rotated Design) โดยแต่ละสถานการณ์ ผลสรุปได้ดังนี้

1. แผนแบบการทดลองแบบการหมุน จะมีความเหมาะสมมากกว่าแผนแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล ในเกือบทุกกรณีที่ทำการศึกษา คือแผนแบบการทดลองแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การหมุนจะมีค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ไร้ศูนย์กลางสูงกว่า แผนแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล แต่เมื่อขนาดตัวอย่างและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน มีค่าสูงขึ้นค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ไร้ศูนย์กลางของทั้งสองวิธีจะมีค่าใกล้เคียงกัน

2. ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ไร้ศูนย์กลางมากที่สุดคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน รองลงมาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน จำนวนการทำซ้ำที่จุดศูนย์กลาง และรูปแบบของความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกับตัวแปรในแผนแบบการทดลอง

และในปี 2541 เอกรัฐ เมนะจินดา ได้ทำการค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์เรื่อง การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองแบบแฟกทอเรียล โดยได้รายงานว่า การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองแบบแฟกทอเรียล เป็นการศึกษาเพื่อประมาณหารูปแบบความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ ที่นักสถิติหรือผู้วิจัยสนใจศึกษา โดยนักสถิติหรือผู้วิจัยสามารถนำผลการทดลองนี้ไปใช้เป็นแนวทางเพื่อกำหนดแผนการทดลอง และระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งทำให้การทดลองเกิดประโยชน์สูงสุด การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแบบแฟคทอเรียลมีขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอนคือ

1. การทดลองเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมบนขอบเขตของระดับปัจจัยเริ่มต้น
2. การหาขอบเขตของระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยวิธี Steepest of Ascent or Descent into The Region of The Optimal Levels of Factor
3. การทดลองเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมบนขอบเขตของระดับปัจจัย ที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยใช้เทคนิคการวางแผนการทดลองจุดศูนย์กลาง
4. การหาระดับของปัจจัยที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

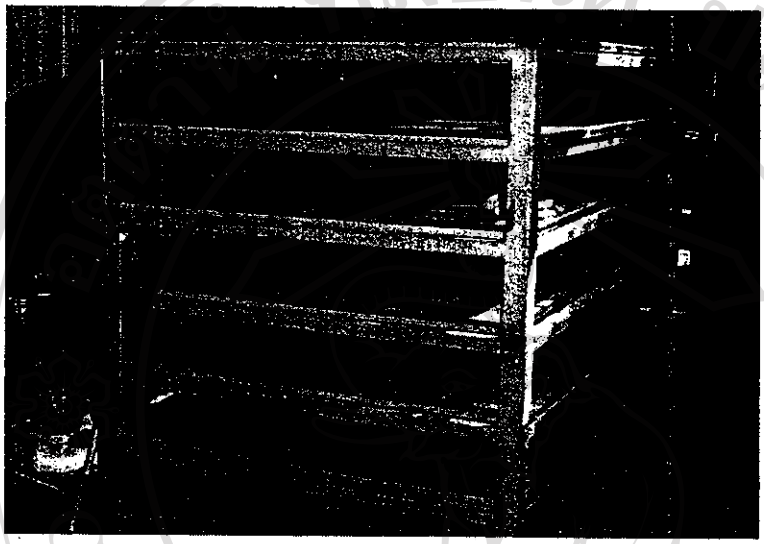
2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ชาฝรั่งหรือชาผงเป็นชาหมัก พันธุ์ชาที่เหมาะสมในการทำชาฝรั่งคือชาพันธุ์อัสสัม ในการจะทำให้ผลิตภัณฑ์ชาฝรั่งมีคุณภาพดีขึ้น ปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาคือขั้นตอนและวิธีการแปรรูป ซึ่งขั้นตอนการผลิตชาฝรั่งแต่ละขบวนการผลิตค่อนข้างจะแน่นอนโดยมีหลักการที่สำคัญ คือ เริ่มจากนำยอดชาสดที่ทำการตัดละเอียดด้วยเครื่องตัด(โม่) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีมาผึ่งบนตระแกรงเพื่อให้ความชื้นในใบชาลดลง ใบชานุ่มลง ม้วนตัวง่าย และเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี จากนั้นนำยอดชาที่ผึ่งได้ที่ไปทำการนวดด้วยเครื่องนวดชา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แล้วเข้าสู่ขบวนการสุดท้ายคือ การอบแห้งด้วยเครื่องอบเพื่อหยุดยั้งปฏิกิริยาเคมี และลดความชื้นจนถึงสภาพแห้ง เพื่อเก็บและบรรจุ ต่อไป

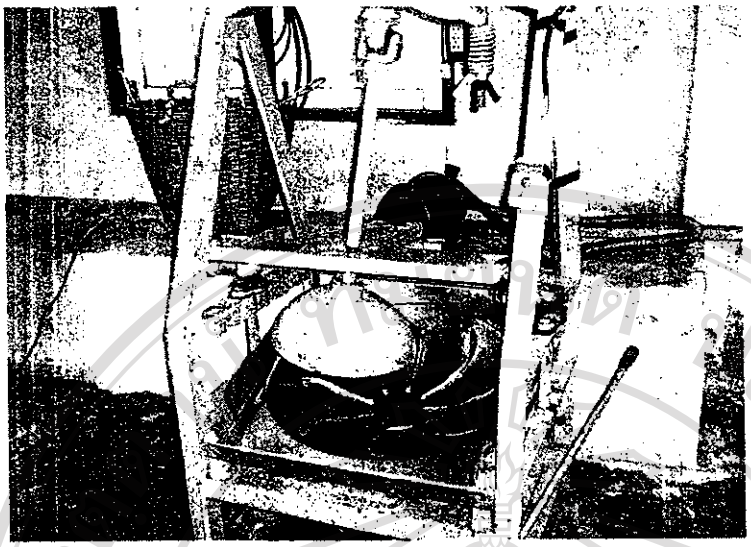
โดยในแต่ละขบวนการทางศูนย์วิจัยได้มีเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแปรรูปชาฝรั่ง ได้แก่ ตระแกรงสำหรับผึ่งชา , เครื่องตัดวัชพืช, เครื่องนวดชาและเครื่องอบชา ดังรูปที่ 2.1, 2.2, 2.3 และ 2.4



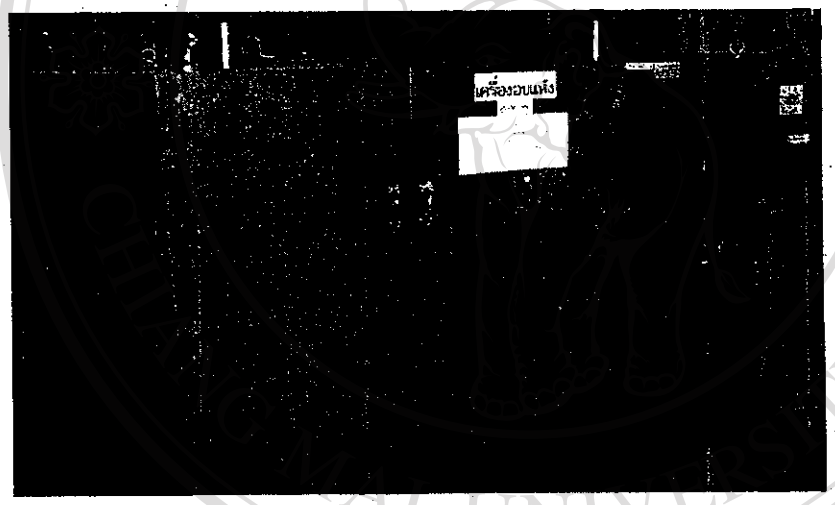
รูป 2.1 ตระแกรงสำหรับผึ่งชา

รูป 2.2 เครื่องตัดวัชพืชนำมาประยุกต์ใช้ในการตัดชาให้มีขนาดตามต้องการโดยการปรับเปลี่ยนขนาดของตระแกรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.3 เครื่องนวดชา



รูป 2.4 เครื่องอบแห้งชา

แม้ว่าขั้นตอนของกระบวนการผลิตจะค่อนข้างมีความแน่นอน แต่สภาวะที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนนั้นก็ยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอนทำให้ผลิตภัณฑ์ชาฝรั่งที่ได้ ไม่มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงได้นำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาช่วยในการหาจุดที่เหมาะสมในแต่ละกระบวนการผลิตชาทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่สม่ำเสมอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.1 การทดสอบทางเคมี

เมื่อได้ทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบการทดลองแล้ว สิ่งที่จะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาฝรั่งก็คือ คุณสมบัติของสี กลิ่น และรสชาติ ซึ่งสี และกลิ่นจะต้องอาศัยการ

ทดสอบทางเคมี และเครื่องมือวัดเพื่อให้ทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมของ Theaflavin (TF) และ Thearubigin (TR) ที่เป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นหอม และสีแดงในน้ำชา

การหาปริมาณ Theaflavin (TF)และ Thearubigin (TR)ในชาดำด้วยวิธี Quick shaking

1. การเตรียมสารละลายชาดำ (Preparation of tea infusion)

สารละลายชาดำจะถูกเตรียมตามที่ได้กล่าวมาแล้วใน Ullah (1972) ด้วยการละลาย ชาดำ หนัก 9 กรัมกับน้ำกลั่น 375 ซี.ซี. แล้วนำไปต้มเป็นเวลา 10 นาที โดยการแช่ในน้ำเดือด หรือ มีอีกวิธีหนึ่งคือ การเอาชาดำ หนัก 6 กรัมกับน้ำเดือดเป็นน้ำกลั่น 250 ซี.ซี. แล้วนำไปต้มเป็นเวลา 10 นาที โดยใช้แก้วชนิดทนความร้อนที่เรียกว่า Thermo-flask

2. การแยก Theaflavin (TF) (Extraction of TF)

นำสารละลายชาดำ 6 ซี.ซี. มาผสมกับสารละลาย Anhydrous disodium hydrogen phosphate และสารละลาย Ethyl acetate ปริมาณ 10 ซี.ซี. และเขย่ากลับหัวกลับหางขึ้นลงเป็นเวลานาน 1 นาที เพื่อแยกสารละลายออกเป็นสองส่วน และส่วนที่ตกตะกอนนอนก้นอยู่ด้านล่างให้เอาออก เหลือแต่ส่วนด้านบนจะแยกเอาสาร Theaflavin (TF) ออกด้วยการใช้สารละลาย Ethyl acetate

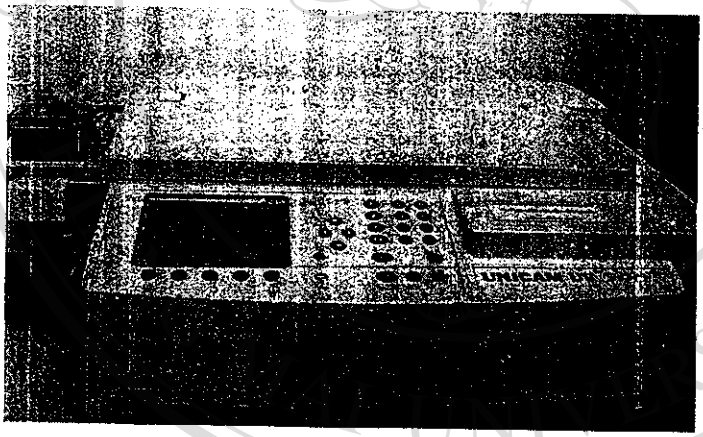
3. การประเมินปริมาณ Theaflavin (TF) (Estimation of TF)

หลังจากแยกสารละลายที่มี Theaflavin (TF) ออกมาแล้ว ให้นำสารละลายนั้นขนาดปริมาณ 10 ซี.ซี.เจือปนเข้ากับแอลกอฮอ (Methanol) ขนาด 25 ซี.ซี. (E_1) ต่อไปให้ทำสารละลายอีสอง(E_2) โดยใช้สารละลายชาดำ (E_1) 1 ซี.ซี. ผสมกับน้ำ 9 ซี.ซี. แล้วเติมน้ำผสมกับแอลกอฮอ (Methanol) ให้ได้ขนาดขนาดรวมสุดท้ายเป็น 25 ซี.ซี. จะได้สารละลายอีสอง (E_2) การเตรียมสารละลาย (E_3) ให้ใช้สารละลายชาดำ (E_1) 1 ซี.ซี. ผสมกับน้ำและกรดอ๊อกเซลลิค เจือจาง 10 เปอร์เซนต์ (ใช้กรดอ๊อกเซลลิค 10 กรัม ผสม น้ำหนึ่งพันซี.ซี.) ผสมกับน้ำ 8 ซี.ซี. แล้วเติมน้ำผสมกับแอลกอฮอ (Methanol) ให้ได้ขนาดขนาดรวมสุดท้ายเป็น 25 ซี.ซี. จะได้สารละลายอีสอง (E_3) ขั้นสุดท้ายก็วัดค่า ความหนาแน่นที่มองเห็นได้ (Optical densities) ของ (E_1), (E_2) และ (E_3) โดยวัดค่าได้จากตารางรูปเซลสี่เหลี่ยมขนาด 1 ซม.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การประเมินค่าผลการวิเคราะห์ชาดำ เพื่อหาปริมาณสารของส่วนผสมของรงควัตถุประเภท Theaflavin (TF) และ Thearubigin (TR) ซึ่งละลายอยู่ในสารละลายนั้น เป็นวิธีการทางด้านเคมีชีวภาพ เพื่อช่วยให้ผู้ทำการทดสอบและรับผิดชอบเลือกสรรชาดำสามารถประเมินค่าได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

ปัจจุบัน เราใช้วิธีแยก Theaflavin (TF) ตามหลักการของ Ullah (1972) ทำให้ลดเวลาการเขย่าลงได้จาก 10 นาทีลงเหลือแค่ 1 นาทีเท่านั้น เรียกวิธีนี้ว่า Quick shaking of a mixture of the Infusion โดยใช้ Sodium Dihydrogen phosphate และสารละลาย Ethyl acetate เพื่อแยก Theaflavin (TF) ออกจากชาดำอย่างรวดเร็ว สรุปคือ ผลที่ได้นอกจากจะมีความรวดเร็วแล้ว ยังเป็นที่พอใจสำหรับคนทำงานในห้องทดลองด้วยจึงถูกนำมาใช้แทนกรรมวิธีอื่นๆที่ใช้ในห้องทดลองในปัจจุบัน โดยการทดสอบทางเคมีและเครื่องมือวัดเพื่อให้ทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมของ Theaflavin (TF) และ Thearubigin (TR) ที่เป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นหอม และสีแดงในน้ำชานั้น จะใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง ดังรูปที่ 2.5 ของสถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รูป 2.5 เครื่อง UV / Visible Spectrometer รุ่น UNICAM UV500

<u>หลักการทำงาน</u>

เป็นเครื่องวัดความเข้มข้นของสาร โดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารซึ่งมีระบบทางเดินแสงคู่ (Double Beam) สามารถควบคุมการทำงานเครื่องจาก Software โดยผ่านจากคอมพิวเตอร์และ Local Control ช่วงความยาวคลื่นใช้งาน (Wavelength Range) 190-900 นาโนเมตร ช่วงการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Photometric Range) ตั้งแต่ –0.3A ถึง 6.0A

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 การประเมินค่าทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

คุณสมบัติในเรื่องของสีและกลิ่นสามารถประเมินออกมาในรูปของปริมาณสารเคมี และการใช้เครื่องมือตรวจวัดได้ แต่คุณสมบัติในเรื่องของรสชาติซึ่งเป็นการวัดผลเชิงคุณภาพจะต้องใช้การประเมินค่าทางประสาทสัมผัส หรือการใช้คนชิมนั้นเอง โดยมีหลักการดังนี้

1. การประเมินค่าทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)) คือ วิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อวัด วิเคราะห์ และ แปลความขณะที่รับความรู้สึก สัมผัสโดยการเห็น การได้ยิน การได้กลิ่น การชิมรสและการสัมผัส

2. ค่าทางประสาทสัมผัสหรือคุณภาพทางประสาทสัมผัส) คือ สิ่งที่ผู้บริโภคใช้ประสาทสัมผัสทั้งห้า ได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น และผิวหนังส่วนต่างๆ ของร่างกายเป็นเครื่องวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ออกมาในคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น สี ขนาด รูปร่าง กลิ่นรสและเนื้อสัมผัส เป็นต้น

3. การวัดคุณภาพทางอ้อม (Subjective measurement) จะทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้มนุษย์เป็นเครื่องทดสอบ แทนเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ในการวัดค่าต่างๆ

4. การวัดคุณภาพโดยตรง (Objective measurement) จะใช้เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ในการวัดค่าทางเคมี หรือการวัดค่าทางกายภาพต่างๆ เพื่อใช้วัดค่าของผลิตภัณฑ์

ความสำคัญของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

1. สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวัดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ และวัดการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากวิธีการนี้เกี่ยวข้องกับมนุษย์จึงมีนักวิทยาศาสตร์หลายสาขา เช่น จิตวิทยา เคมี วิศวกรรม เทคโนโลยีการอาหาร และสถิติ พยายามรวมตัวกันเพื่อศึกษาให้เข้าใจพฤติกรรมของมนุษย์ ในการใช้มนุษย์เป็นเครื่องมือในการวัดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ และหาความสัมพันธ์กับการยอมรับของมนุษย์

2. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้ถูกยกระดับมาเป็น สาขาทางวิทยาศาสตร์ ใช้ประโยชน์เหมือนเป็นเครื่องมือ วัดโดยตรง มีความน่าเชื่อและถูกต้องแน่นอนในระดับหนึ่ง หากมีการเลือกใช้วิธีที่ถูกต้อง

3. ส่วนใหญ่งานวิจัยทางด้านการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส จะเกี่ยวข้องกับอาหารเป็นส่วนใหญ่ โดยเน้นกลิ่นรสและรสชาติ แต่ก็สามารถประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ด้วย เช่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- การวัดเนื้อสัมผัส ซึ่งใช้ได้กับผ้าไหม หนัง ไม้ เยื่อกระดาษ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ไม่ใช่อาหาร
- การประเมินกลิ่น อาจใช้ได้กับ น้ำหอม โลชั่น สบู่ แชมพู เป็นต้น
- การประเมินลักษณะอื่นๆ ที่มองเห็น เช่น สี ความเป็นมันเงา ขนาด รูปร่าง และตำหนิของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

ผู้ทดสอบสามารถแบ่งตามความเชี่ยวชาญได้ 4 กลุ่ม คือ

1. ผู้บริโภค (Consumer panel)
   - เป็นผู้ทดสอบที่ไม่เคยได้รับการฝึกฝน (Consumer untrained panel)
   - เป็นกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับหรือความชอบ
   - จำนวนที่ใช้จะมากกว่า 100 คน
2. ผู้บริโภคประเภทเดียวกัน (Consumer-type panel)
   - เป็นกลุ่มผู้บริโภคที่มีลักษณะคล้ายกัน เช่นกลุ่มนักศึกษาในมหาวิทยาลัย กลุ่มคนงาน หรือกลุ่ม ผู้บริโภคเป้าหมาย
   - เป็นกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบความชอบ
   - จำนวนที่ใช้ จะอยู่ในช่วง 40-100 คน
3. ผู้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory panel)
   - เป็นกลุ่มผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝนให้มีความรู้ทางด้านประสาทสัมผัส และมีความคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์บ้างพอสมควร (Trained panel)
   - จำนวนที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมาก อาจอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5-20 คน
   - ควรใช้ประมาณ 10 คน (อย่างน้อย 6 คน)
4. ผู้เชี่ยวชาญ (The expert panel)
   - เป็นผู้ที่มีประสบการณ์ มีความชำนาญเป็นพิเศษเฉพาะผลิตภัณฑ์
   - จำนวนที่ใช้จะน้อยลง
   - มักใช้ทดสอบผลิตภัณฑ์ประเภทไวน์ ชา กาแฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการทดสอบ (Method)

วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบ่งเป็น 3 วิธีดังนี้

1. การทดสอบหาความแตกต่าง (Difference/Discriminatory test)
   - ผู้ทดสอบไม่ถูกอนุญาตให้ทดสอบตามความรู้สึกของตนเองว่าชอบหรือไม่ชอบ
   - อิทธิพลจากความรู้สึกส่วนตัวของผู้ทดสอบควรถูกกำจัดไป
2. การทดสอบเชิงพรรณนา (Descriptive test)
   - ใช้ในการทดสอบเค้าโครงของผลิตภัณฑ์
   - ทดสอบความเข้มของผลิตภัณฑ์ เช่น กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส หรือรสชาติ เป็นต้น
3. การทดสอบความชอบหรือการทดสอบการยอมรับ (Preference /Affective /Acceptance test)

เป็นวิธีทดสอบความชอบ โดยทดสอบจากความรู้สึกส่วนตัวของผู้ชิมที่ตอบสนองต่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่กำลังทดสอบ

หลักการและทฤษฎีข้างต้นจะทำให้เราทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ชาฝรั่งและกำหนดเป็นมาตรฐานการผลิตเพื่อให้ได้ ชาฝรั่งคุณภาพดีสม่ำเสมอ และตรงความต้องการของผู้บริโภค

2.3 การออกแบบการทดลอง

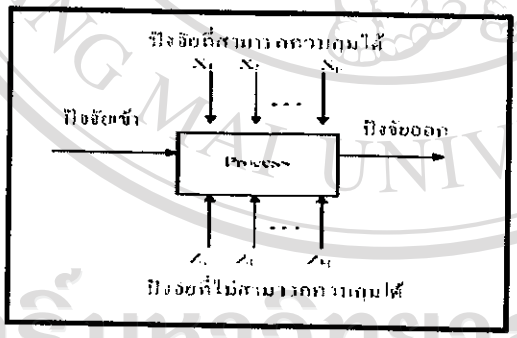
การออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment :DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติชั้นสูงที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลอง คือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการทดลองแบบ ลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One-Factor-at-a-Time) เช่น ถ้าเราสงสัยว่าเราควรที่จะต้องปรับตั้งค่าของอุณหภูมิในการอบชิ้นงาน เวลาที่ใช้ในการอบ และส่วนผสมของชิ้นงานเท่าไรดีจึงจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพสูงสุดไม่เป็นของเสีย ดังนั้นแนวทางที่เรามักใช้กันโดยทั่วๆไปก็คือ เรามักจะไปลองปรับตั้งในส่วนของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบก่อน (ในขณะที่คงค่าของเวลาที่ใช้ในการอบกับอัตราส่วนผสมไว้) เมื่อทดลองจนได้ค่าของอุณหภูมิที่เราต้องการแล้วจึงค่อยไปปรับตั้งเรื่องของเวลา (ในขณะที่คงที่ค่าของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกับอัตราส่วนผสมไว้) จากนั้นสุดท้ายจึงไปทำการปรับตั้งเรื่องของอัตรา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนผสมที่เหมาะสม (โดยการคงที่ค่าของอุณหภูมิกับเวลาไว้) และเราอาจทำซ้ำวงจรนี้ไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะหาจุดที่ดีที่สุดของกระบวนการซึ่งลักษณะนี้เรียกว่าการทดลองแบบ One Factor at a Time นั่นเอง โดยทั่วไปแล้วการออกแบบการทดลองแบบ One Factor at a Time จะให้ผลตอบสนองเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่เราต้องการได้ช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมากและยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect) ระว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) คือการทดสอบหรือชุดของการทดสอบที่มีวัตถุประสงค์ที่จะเปลี่ยนปัจจัย (Factor) นำเข้าของกระบวนการ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำออก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกว่า ผลตอบ (Response) ตามรูป 2.6 โดยกำหนดให้ตัวแปร x_1, x_2, ...x_p เป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factor) ขณะที่ z_1, z_2, ...z_q เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factor) และบางครั้งเรียกว่า ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองจึงเกี่ยวกับ

1) การหาตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อผลกระทบ y
2) การหาวิธีการตั้งค่า x ที่จะทำให้ค่า y ได้ตามค่าที่ต้องการ
3) การหาวิธีการตั้งค่า x เพื่อที่จะให้เกิดความแปรปรวนในค่า y น้อยที่สุด
4) การหาวิธีการตั้งค่า x เพื่อที่จะให้ตัวแปรที่ไม่สามารถคุมได้ z มีค่าต่ำสุด



รูป 2.6 หุ่นจำลองทั่วไปของกระบวนการ

(Montgomery, 2002)

ดังนั้นการออกแบบการทดลอง จึงอาจนำมาใช้ทั้งการพัฒนากระบวนการที่มีปัญหาเพื่อให้กระบวนการนั้นมีสมรรถนะดีขึ้น หรือทำให้เกิดความมั่นคง (Robust or Insensitive) ต่อแหล่งความผันแปรที่อยู่ภายนอก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 คำศัพท์ที่ควรรู้เกี่ยวกับการทดลอง

พิสมัย หาญมงคลพิพัฒน์ (2545) ได้ให้คำนิยามความหมายของคำศัพท์ที่ควรรู้เกี่ยวกับการทดลองไว้ดังต่อไปนี้

2.4.1 การทดลอง (Experiment) หมายถึงกระบวนการค้นคว้าหาความจริงแบบหนึ่งโดยจัดกระทำอย่างใดอย่างหนึ่งกับตัวแปรอิสระ(Independent Variable) ที่ศึกษาหรืออาจเรียกว่าตัวแปรทดลอง (Experimental Variable) เพื่อดูตัวแปรตามซึ่งเป็นผลที่จะเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากผลของตัวแปรอิสระนั้น

หลักการพื้นฐาน 3 ประการ สำหรับการออกแบบการทดลองคือ

1. เรพลิเคชัน (Replication) หมายถึง การทดลองซ้ำ ซึ่งมีสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ทำให้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ และถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งการทดลองเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

2. แรนดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลจะต้องเป็นปัจจัยแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ การที่เราสุ่มการทดลองทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจปรากฏในการทดลองได้

3. บล็อกกิ้ง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึง ส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิ้ง

ข้อดีของการออกแบบการทดลองคือ ให้ผลของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างสูง โดยสามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินการตรวจสอบสาเหตุของปัญหา

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องจะต้องมีความเข้าใจล่วงหน้าว่า เรากำลังศึกษาอะไรอยู่จะเก็บข้อมูลได้อย่างไรและจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินงานอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำความเข้าใจถึงปัญหา

ในขั้นตอนนี้เราอาจจะต้องพยายามพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่เราจะต้องหาข้อมูลสำหรับป้อนเข้าจากบุคคลที่มีความรู้ความชำนาญในแต่ละด้าน นั้นเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการออกแบบการทดลองเพราะเป็นจุดเริ่มต้นของการดำเนินงานคือ การใช้ประสบการณ์คาดคะเนว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อปัญหาที่เราสนใจ ถ้าหากไม่มีในส่วน ของประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเข้ามาเกี่ยวข้อง การออกแบบการทดลองก็ยังคงดำเนินต่อไปแต่จะ ใช้เวลาที่นานขึ้นเพราะต้องเสียเวลาในการตรวจสอบทุกๆปัจจัยที่มีอยู่ทั้งหมด

เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ในการทดลองที่เหมาะสม

ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขต ที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณา ด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดได้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นใน กรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมากซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจาก ประสบการณ์และความรู้จากทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่เราจะต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนด ขึ้นมานี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย (Factor Screening) ซึ่งต้องเลือกวิธีการคัดกรองปัจจัยให้เหมาะสมกับการทดลองดังตาราง 2.8 และควรจะ กำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มี ความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเราควรเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ หมายถึงว่าขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้างๆ และเมื่อเราได้เรียนรู้เพิ่มขึ้น ว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและที่ระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตให้แคบ ลงได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 แสดงรูปแบบและลักษณะการทดลอง

รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	เวลาในการวิเคราะห์	ความถูกต้อง	งบประมาณ
Single Factor	การทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัย โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่คาดว่ามีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	ใช้เวลานาน	มากที่สุด	มาก
3^k Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบแต่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ปัจจัยละ 3 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
3^{k-p} Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยแต่ไม่ทำการทดลองแบบเต็มรูปแบบทั้งหมด (ลดรูป)	รวดเร็ว	น้อย	น้อย

เลือกตัวแปรตอบสนอง

ในการเลือกตัวแปรตอบสนองผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปรตอบสนอง เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจมีตัวแปรตอบสนองหลายตัว และมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรตอบสนอง และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

เลือกรูปแบบของการทดลองที่เหมาะสม

ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ง่ายมาก การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (Replicate) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีการจัดกลุ่ม (Block) หรือการจัดแบบสุ่ม (Randomizations) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบ เราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิศวกรรมส่วนมาก เราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อค่าตอบสนองที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

ทำการทดลอง

เมื่อทำการทดลองเราจะต้องทำการทดลองอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามการทอลองที่ได้ออกแบบไว้ ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

ใช้วิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติ เป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ และถ้าเรานำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของ นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

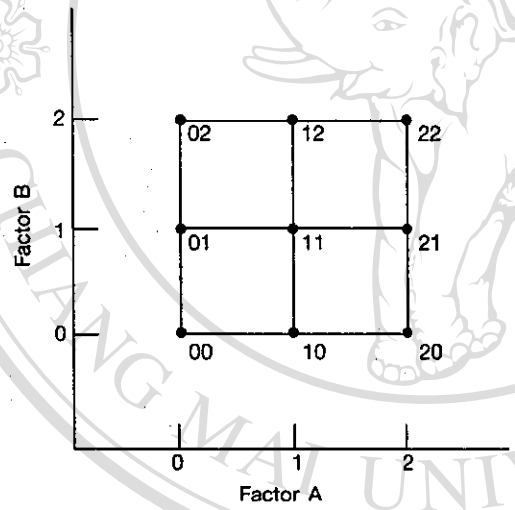
2.4.2 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3^k

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3^k หมายถึงการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ และระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็น ต่ำ ปานกลางและสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามเป็นตัวเลข 0 (ต่ำ) 1 (ปานกลาง) และ (2) การทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 3^k จะแทนด้วยตัวเลข k ซึ่งการออกแบบ 3^k จะเหมาะสมเมื่อผู้ทดลองกำลังสนใจกับผลตอบที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง อย่างไรก็ตามการออกแบบ3^k ไม่ได้เป็นการออกแบบที่ดีที่สุดในการสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์แบบควอดราติกซึ่งในกรณีนี้การออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) จะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2.1 การออกแบบ 3^2

การออกแบบที่ง่ายที่สุดในระบบ 3^k คือการออกแบบ 3^2 ซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบนี้แสดงดังรูป 2.7 เนื่องจากการทดลองนี้มีการทดลองร่วมปัจจัย3^2=9 การทดลอง ดังนั้นระดับขั้นความเสรีของการทดลองร่วมปัจจัยจะมีค่าเท่ากับ 8 ผลหลัก AและB จะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2 และอันตรกริยา AB จะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 4 ถ้าจำนวนของการเรพลิเคตเท่ากับ n ค่าของระดับขั้นความเสรีทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ $n3^2$-1 และค่าความผิดพลาดของระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 3^2(n-1) ค่าผลรวมของกำลังสองสำหรับ A,Bและ AB สามารถหาได้จากวิธีปกติเหมือนการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ค่าผลรวมของกำลังสองสำหรับผลหลักอาจจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนเชิงเส้นและส่วนควอดราติก ซึ่งแต่ละส่วนมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 1 โดยใช้ค่าคงตัวคอนแทรสต์เชิงตั้งฉากซึ่งวิธีนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อปัจจัยทั้งหมดเป็นข้อมูลเชิงปริมาณและระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีระยะห่างเท่ากัน



รูป 2.7 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบ 3^2

2.4.2.2 การออกแบบ 3^3

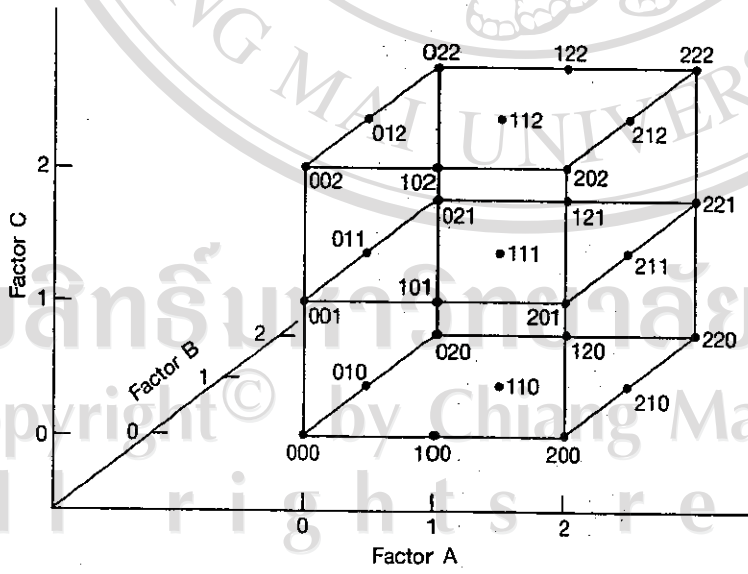
สมมุติว่ามีปัจจัย 3 ปัจจัย (A,BและC) ที่อยู่ในความสนใจแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับซึ่งถูกจัดอยู่ในรูปแบบของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล การออกแบบในกรณีนี้เรียกว่า การออกแบบเชิงแฟกทรอเรียลแบบ 3^3 โครงสร้างของการทดลองและสัญลักษณ์ของการทดลองร่วมปัจจัยต่างๆแสดงดังรูป 2.8 ในการทดลองนี้ประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยจำนวน 27 การทดลองดั้งนั้นจะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 26 ผลหลักแต่ละตัวจะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อันตรกริยาแบบสองปัจจัยแต่ละตัวจะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 4 และอันตรกริยาแบบสามปัจจัยจะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ8 ถ้าทำการทดลองทั้งสิ้น n เรพลิเคต จะมีระดับขั้นความเสรีผลรวมเท่ากับ $n3^3$-1 และมีค่าผิดพลาดของระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $3^3(n-1)$ ค่าผลรวมของกำลังสองสามารถหาได้จากวิธีมาตรฐานของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ยิ่งกว่านั้น ถ้าปัจจัยเป็นแบบเชิงปริมาณและมีระยะห่างเท่ากันแล้ว เราอาจจะแยกผลหลักออกเป็นส่วนที่เป็นเชิงเส้นและส่วนที่เป็นควอดราติกได้ อันตรกิริยาแบบสองปัจจัยอาจจะถูกแยกออกเป็นผลแบบเชิงเส้น × เชิงเส้น, เชิงเส้น × ควอดราติก, ควอดราติก × เชิงเส้น และ ควอดราติก × ควอดราติก สุดท้ายก็คืออันตรกิริยาแบบสามปัจจัย ABC ซึ่งสามารถที่จะถูกแยกออกเป็นส่วนที่มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 1 จำนวนทั้งสิ้น 8 ตัว คือ เชิงเส้น × เชิงเส้น × เชิงเส้น, เชิงเส้น × เชิงเส้น × ควอดราติก, ต่อไปเช่นนี้เรื่อย ๆ จนครบ แต่การแยกอันตรกิริยาแบบสามปัจจัยเช่นนี้ส่วนมากแล้วจะไม่มีประโยชน์แต่ประการใด

เป็นไปได้ที่จะแยกอันตรกิริยาออกเป็นส่วน I และ J ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นส่วนของ AB, AB^2, AC, AC^2, BC และ BC^2 ซึ่งแต่ละตัวจะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2 และเหมือนกับการออกแบบ 3^2 ส่วนประกอบเหล่านี้ไม่มีผลในทางกายภาพแต่ประการใด

อันตรกิริยาแบบสามปัจจัย ABC อาจจะแยกออกเป็นส่วนประกอบแบบเชิงตั้งฉากที่มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2 ได้จำนวน 4 ตัว ซึ่งจะเรียกส่วนประกอบเหล่านี้ว่า W, X, Y และ Z ของอันตรกิริยาเราจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า AB^2C^2, AB^2C, ABC^2 และ ABC ของอันตรกิริยา ABC



รูป 2.8 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบ 3^3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2.3 รูปทั่วไปของการออกแบบ 3^k

แนวความคิดของการออกแบบ 3^2 และ 3^3 สามารถขยายไปสู่กรณีของปัจจัย k ตัว แต่ละตัวประกอบด้วย 3 ระดับนั่นคือ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k สัญลักษณ์แบบดิจิทัลถูกนำมาใช้แทนการทดลองร่วมปัจจัยที่เกิดขึ้น เช่น 0120 หมายถึงการทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 3^4 ที่มี Aและ D อยู่ที่ระดับต่ำ B อยู่ที่ระดับกลาง และ C อยู่ที่ระดับสูง การออกแบบ 3^k นี้จะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสิ้น 3^k การทดลองและมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 3^k-1 จากการทดลองร่วมปัจจัยเหล่านี้จะทำให้เกิดผลรวมของกำลังสองของผลหลัก k ตัว ที่แต่ละตัวมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2 อันตรกริยาแบบสองปัจจัยจำนวน C_k^2 ซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 4 และอันตรกริยาแบบ k ปัจจัยซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2^k ถ้ามีการทดลองทั้งสิ้น n เรพลิเคต จะทำให้เกิดระดับขั้นความเสรีทั้งหมดเท่ากับ $n3^k$-1 และค่าผิดพลาดของระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 3^k(n-1) โดยการออกแบบจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของk เช่น การออกแบบ 3^3 จะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสิ้น 27 ตัวต่อหนึ่งเรพลิเคต การออกแบบ 3^4 จะมี 81 ตัว การออกแบบ 3^5 จะมี 243 ตัว เช่นนี้ไปเรื่อยดังนั้นบ่อยครั้งที่เราจะทำการทดลองแบบ 3^k เพียง 1 เรพลิเคตเท่านั้น และนำอันตรกริยาขั้นสูงมารวมกันเพื่อให้ได้ค่าประมาณของค่าความผิดพลาด ถ้าอันตรกริยาแบบ 3 ปัจจัยหรือมากกว่าสามารถละเลย ดังนั้นการออกแบบ 3^3 ที่มี 1 เรพลิเคตจะให้ค่าระดับขั้นความเสรีสำหรับความผิดพลาดเท่ากับ 8 และสำหรับการออกแบบ 3^4 ที่มี 1 เรพลิเคตจะให้ค่าระดับขั้นความเสรีสำหรับความผิดพลาดเท่ากับ 48 ซึ่งการออกแบบเช่นนี้ยังคงใหญ่เกินไปสำหรับปัจจัย k มากกว่าหรือเท่ากับ 3 ดังนั้นไม่ค่อยมีประโยชน์เท่าใดนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 3^3 (3^3 Full Factorial Design)

Run	A	B	C
1	+1	+1	+1
2	+1	+1	0
3	+1	+1	-1
4	+1	0	+1
5	+1	0	0
6	+1	0	-1
7	+1	-1	+1
8	+1	-1	0
9	+1	-1	-1
10	0	+1	+1
11	0	+1	0
12	0	+1	-1
13	0	0	+1
14	0	0	0
15	0	0	-1
16	0	-1	+1
17	0	-1	0
18	0	-1	-1
19	-1	+1	+1
20	-1	+1	0
21	-1	+1	-1
22	-1	0	+1
23	-1	0	0
24	-1	0	-1
25	-1	-1	+1
26	-1	-1	0
27	-1	-1	-1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.3 วิธีการพื้นผิวผลตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ

วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์ และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่สนใจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ตัว และต้องการที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลการตอบสนองเหล่านี้ ตัวอย่างเช่น สมมุติว่ามีวิศวกรเคมีคนหนึ่ง มีความต้องการที่จะหาระดับของอุณหภูมิ (x_1) และความดัน (x_2) ที่จะส่งผลให้ผลผลิตของกระบวนการมีค่ามากที่สุด ซึ่งผลผลิตของกระบวนการนี้เป็นฟังก์ชันของระดับของอุณหภูมิและความดัน ดังสมการ 2.1

$$y = \int(x_1, x_2) + \varepsilon \qquad (2.1)$$

โดยที่ ε คือค่าความผิดพลาดของผลตอบสนอง y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง ถ้ากำหนดให้ $E(y) = f(x_1, x_2) = \eta$ ดังนั้น สามารถเขียนสมการของพื้นผิวดังสมการ 2.2

$$\eta = f(x_1, x_2) \qquad (2.2)$$

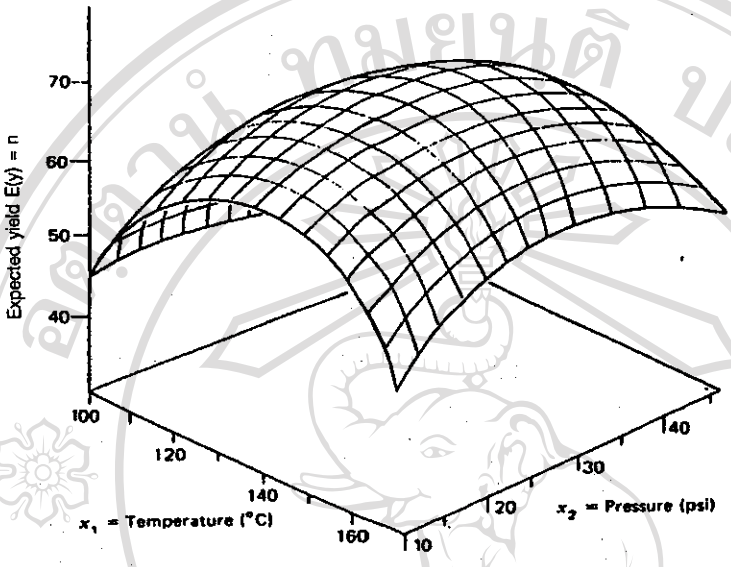
ซึ่งเรียกว่า พื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface) โดยมากแล้ว จะทำการแสดงพื้นผิวผลตอบสนองในรูปแบบของกราฟ (รูป 2.9) โดยที่ η จะถูก Plot กับระดับของ x_1 และ x_2 เพื่อที่จะช่วยให้เรามองรูปร่างของพื้นผิวผลตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น ส่วนใหญ่แล้วจะ ทำการพล็อท (Plot) เป็นเส้นโครงร่าง (Contour Plot) ของพื้นผิวผลตอบสนอง (รูป 2.10) ในการสร้างเส้นโครงร่างนี้ เส้นที่มีค่าของผลตอบสนองคงที่จะถูกวาดอยู่บนระนาบ x_1 และ x_2 ซึ่งเส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะมีความสูงของพื้นผิวผลตอบสนองที่เท่ากันอยู่ค่าหนึ่ง ในปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบสนอง ส่วนมากจะไม่ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนอง และตัวแปรอิสระ ดังนั้นขั้นตอนแรกก็คือ จะต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และของตัวแปรอิสระ ซึ่งตามปกติแล้วจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่กำลังต่ำๆ ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองของผลตอบสนองมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่จะใช้ในการประมาณความสัมพันธ์นี้ คือ แบบจำลองกำลังหนึ่งดังสมการ 2.3

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k + \varepsilon \qquad (2.3)$$

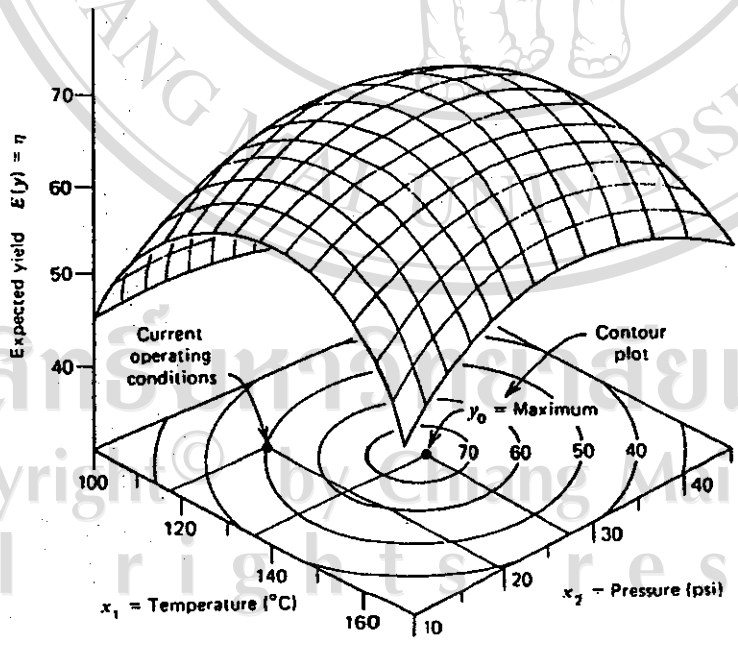
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบ จะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสองดังสมการ 2.4

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_j x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \qquad (2.4)$$



รูป 2.9 แสดงภาพพื้นผิวผลตอบสนองในรูปแบบของกราฟ 3 มิติ



รูป 2.10 แสดงกราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตอบสนอง

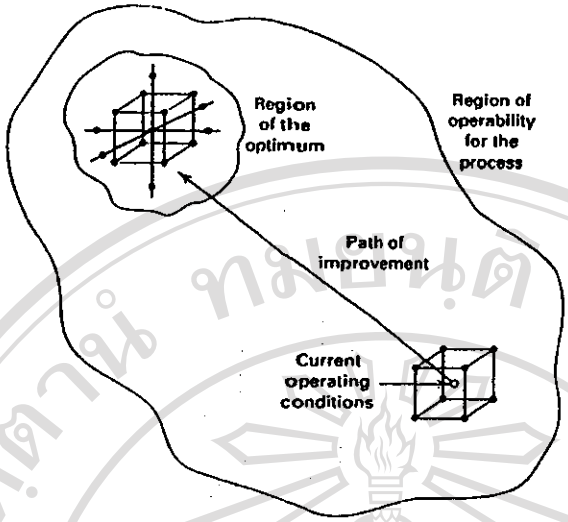
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบสนอง ส่วนใหญ่จะใช้แบบจำลอง 1ใน 2 แบบที่กล่าวมาข้างต้น แน่นอนว่าแบบจำลองพหุนามดังกล่าวเหล่านี้ จะไม่สามารถใช้ประมาณค่าความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระ แต่ทว่าถ้าพื้นผิวที่สนใจอยู่นั้นมีขนาดค่อนข้างเล็กแล้ว แบบจำลองเหล่านี้จะใช้งานได้ดีพอสมควร

วิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method) ดังกล่าวไว้ในทฤษฎีของการสร้างแบบจำลองการถดถอย (Fitting Regression Models) แล้ว จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองพหุนาม การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองจะเกิดขึ้นกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นนี้ ถ้าพื้นผิวที่สร้างขึ้นสามารถใช้ประมาณฟังก์ชันผลตอบสนองได้เป็นอย่างดีเพียงพอ ดังนั้น การวิเคราะห์พื้นผิวที่สร้างขึ้นมานี้ จะสามารถประมาณค่าได้เหมือนกับการวิเคราะห์ระบบจริง พารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองสามารถที่จะถูกประมาณค่าได้เป็นอย่างดี ถ้าเราทำการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะเก็บค่าได้อย่างเหมาะสม การออกแบบชนิดนี้เรียกว่า การออกแบบโดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Design)

การวิเคราะห์พื้นผิวเป็นวิธีการแบบมีลำดับขั้นตอน บ่อยครั้งที่เราอยู่ที่จุดบนพื้นผิวผลตอบสนองที่ห่างไกลออกไปจากจุดที่ดีที่สุด ตัวอย่างเช่น ณ เงื่อนไขการทำงานปัจจุบัน ซึ่งจะพบว่าผลตอบสนองของระบบนี้ไม่ค่อยเป็นส่วนโค้ง และแบบจำลองกำลังหนึ่งก็พอเพียงในการสร้างแบบจำลองแล้ว วัตถุประสงค์ คือ การนำการทดลองไปใช้เป็นแนวทางที่มีการปรับปรุงมากที่สุด และอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อที่จะเป็นการค้นพบกับจุดที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วที่สุด และเมื่อค้นพบอาณาเขตของค่าที่ดีที่สุดแล้ว จะนำเอาแบบจำลองที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น แบบจำลองกำลังสอง เป็นต้น เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ และการทดลองเช่นนี้จะทำเพื่อที่จะให้สามารถหาจุดที่ดีที่สุดได้ จากรูป 2.14 จะพบว่าการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองเปรียบเสมือนการปีนภูเขา ซึ่งยอดของมักจะเป็นจุดที่มีผลตอบสนองสูงสุด หรือกรณีถ้าค่าที่ดีที่สุดคือค่าต่ำที่สุดในที่นี้ จะคิดเสมือนการเคลื่อนที่ลงสู่หุบเขา วัตถุประสงค์สุดท้ายของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง คือ การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับระบบ หรือเพื่อที่จะหาอาณาเขตของปัจจัยที่จะก่อให้เกิดการทำงานที่น่าพอใจที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.11 แสดงวิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง

2.4.3.1 การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองกำลังสอง

เมื่อผู้ทำการทดลองอยู่ใกล้เคียงกับจุดที่ดีที่สุดแล้ว แบบจำลองที่สามารถแสดงส่วนโค้งจะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าของผลตอบสนอง ส่วนใหญ่แบบจำลองกำลังสองจะมีรูปแบบสมการ 2.5

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_j x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \qquad (2.5)$$

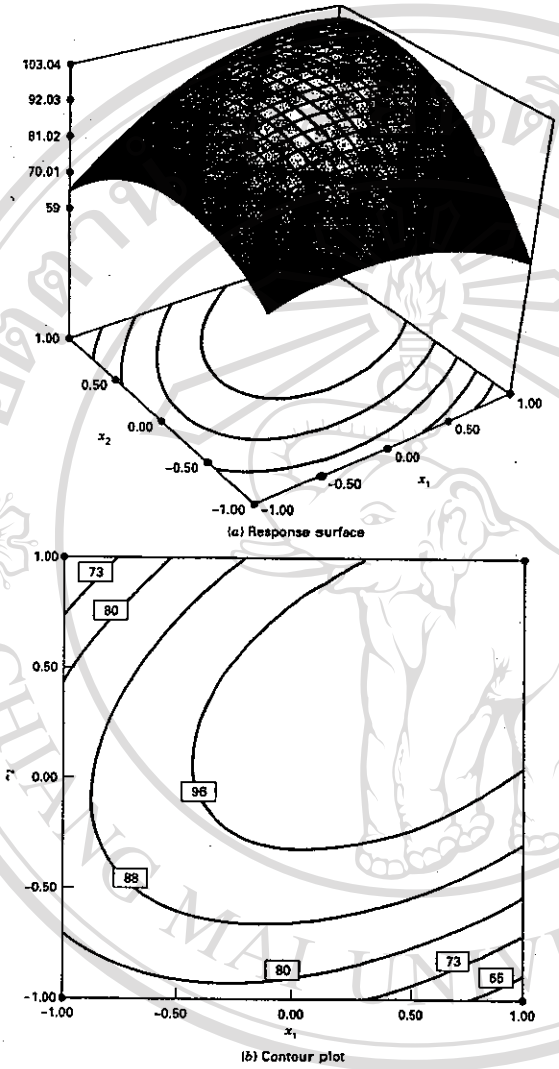
ซึ่งแบบจำลองนี้จะมีความพอเพียง ในส่วนต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นถึงการสร้างแบบจำลองกำลังสอง เพื่อที่จะนำไปสู่การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดต่อไป

2.4.3.2 ตำแหน่งของจุดหยุดนิ่ง

สมมติว่าต้องการที่จะหาระดับของ $x_1, x_2, ..., x_k$ ที่จะทำให้ผลตอบสนองมีค่าที่ดีที่สุด จุดนี้ถ้าหากมีอยู่จริงจะหมายถึง เงื่อนไขของจุด $x_1, x_2, ..., x_k$ ที่มีค่าของอนุพันธ์แบบบางส่วน (Partial Derivative) $\partial\hat{y}/\partial x_1 = \partial\hat{y}/\partial x_2 = ... = \partial\hat{y}/\partial x_k = 0$ และจะเรียกตำแหน่งของจุด $x_{1,s}, x_{2,s}, ..., x_{k,s}$ เหล่านี้ว่า จุดหยุดนิ่ง (Stationary Point) จุดหยุดนิ่งนี้สามารถใช้ในการแทน (1)

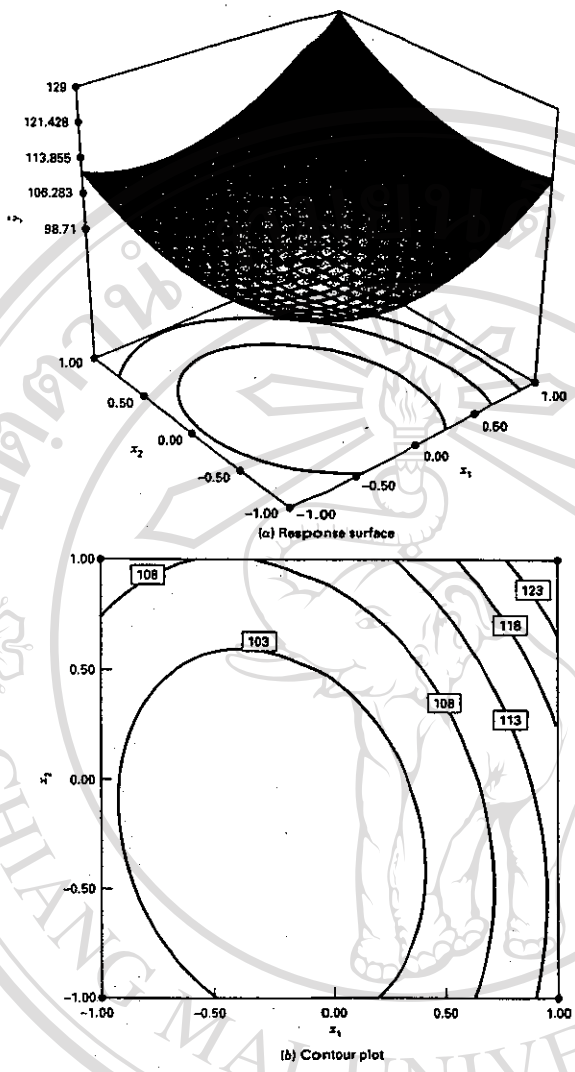
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จุดที่มีค่าผลตอบสนองสูงสุด, (2) จุดที่มีค่าผลตอบสนองต่ำสุด หรือ (3) จุดอานม้า (Saddle Point) ซึ่งทั้ง 3 ทางที่มีความเป็นไปได้แสดงในรูป 2.12 - 2.14



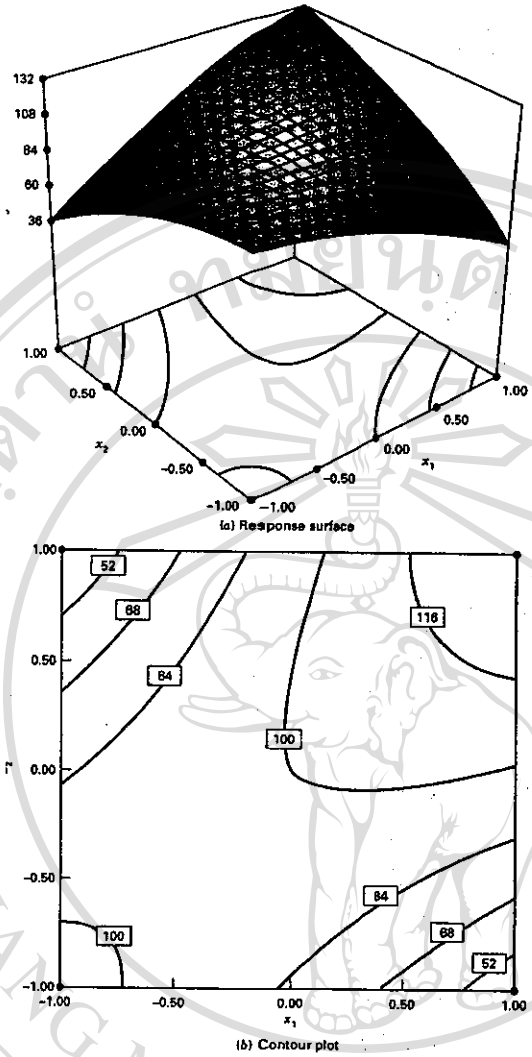
รูป 2.12 แสดงจุดหยุดนิ่งที่ถูกสร้างขึ้นจากพื้นผิวผลตอบสนองกำลังสอง (จุดที่มีผลตอบตอบสนองสูงสุด)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.13 แสดงจุดหยุดนิ่งที่ถูกสร้างขึ้นจากพื้นผิวผลตอบสนองกำลังสอง (จุดที่มีค่าผลตอบสนองต่ำสุด)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.14 แสดงจุดหยุดนิ่งที่ถูกสร้างขึ้นจากพื้นผิวผลตอบสนองกำลังสองที่เรียกว่าจุดอานม้า (Saddle Point)

กราฟโครงร่าง (Contour Plot) มีความสำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง การใช้ Software สำหรับสร้างกราฟโครงร่างของพื้นผิวตอบสนองขึ้นมา จะทำให้ทราบถึงรูปร่างของพื้นผิว และตำแหน่งของจุดที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างแม่นยำ

บางครั้งอาจจะสามารถหาคำตอบทั่วไปทางคณิตศาสตร์สำหรับตำแหน่งของจุดหยุดนิ่ง (Stationary Point) ได้ โดยการเขียนแบบจำลองกำลังสองในรูปแบบแมททริก (Matrix) ได้ดังสมการ 2.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + x'b + x'Bx \qquad (2.6)$$

โดยที่

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_k \end{bmatrix} \qquad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \qquad \text{และ} \qquad B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2, & \cdots, & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ & \hat{\beta}_{22} & \cdots, & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ & & \cdot & \cdot \\ & & \cdot & \cdot \\ & & \cdot & \cdot \\ sym. & & & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix}$$

ซึ่ง b คือเวกเตอร์ขนาด $(k \times 1)$ ของสัมประสิทธิ์การถดถอยกำลังหนึ่ง และ B คือ Matrix แบบสมมาตรขนาด $(k \times k)$ ซึ่งมีส่วนประกอบในแนวเส้นทแยงมุมหลักเป็นสัมประสิทธิ์ของกำลังสองบริสุทธิ์ $(\hat{\beta}_{ii})$ และส่วนประกอบที่ไม่ได้อยู่ในแนวเส้นทแยงมุมเป็นครึ่งหนึ่งของสัมประสิทธิ์กำลังสองผสม $(\hat{\beta}_{jj}, i \neq j)$ ค่าอนุพันธ์ของ $\hat{y}$ เทียบกับส่วนประกอบของเวกเตอร์ x มีค่าเท่ากับศูนย์ สมการ 2.7

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x} = b + 2Bx = 0 \qquad (2.7)$$

จุดหยุดนิ่ง คือ คำตอบของสมการที่ 2.8 คือ

$$x_s = -\frac{1}{2} B^{-1} b \qquad (2.8)$$

และเมื่อแทนค่าสมการที่ 2.8 ในสมการที่ 2.6 จะพบค่าผลตอบสนองที่คาดหมาย ณ จุดหยุดนิ่งดังสมการ 2.9

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \frac{1}{2} x_s' b \qquad (2.9)$$

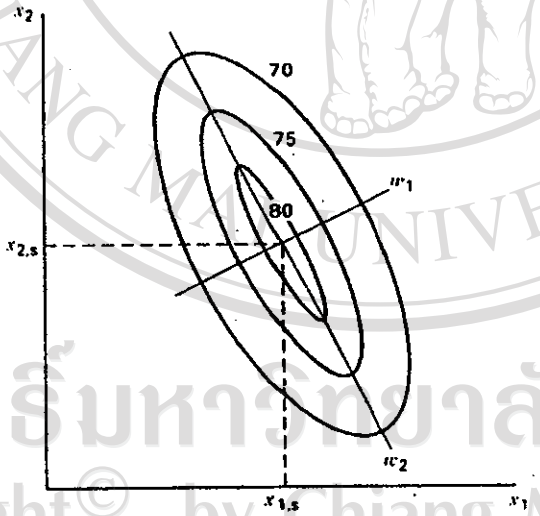
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.3.3 ลักษณะคุณสมบัติของพื้นผิวผลตอบสนอง

เมื่อค้นพบจุดหยุดนิ่งแล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องหาลักษณะคุณสมบัติของพื้นผิวตอบสนองในบริเวณใกล้เคียงกับจุดนี้ นั่นคือ จะต้องหาว่าจุดหยุดนิ่งนี้เป็นจุดสูงสุด, เป็นจุดต่ำสุด หรือเป็นจุดอานม้า นอกจากนั้น ยังต้องศึกษาถึงความไวของผลตอบสนองกับตัวแปร $x_1, x_2, ..., x_k$

เหมือนดังกล่าวมาก่อนหน้านี้ว่า วิธีการแบบตรงไปตรงมาที่จะหาจุดเหล่านี้ คือ การดูกราฟจากโครงร่างของแบบจำลอง ถ้าในการทดลองนั้นมีตัวแปรของกระบวนการเพียง 2 หรือ 3 ตัว การสร้างและการตีความหมายของกราฟโครงร่างนี้จะค่อนข้างง่าย อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะมีตัวแปรเพียงแค่ 2 หรือ 3 ตัวก็ตาม การวิเคราะห์อย่างเป็นทางการที่เรียกว่า การวิเคราะห์แบบบัญญัติ (Canonical Analysis) ก็สามารถนำมาใช้ได้เช่นกัน

จะเป็นการช่วยในการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก ถ้ามีการแปลงรูปของแบบจำลองไปสู่ระบบพิกัดที่มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่จุดหยุดนิ่ง x_s และหลังจากนั้นก็หมุนแกนของระบบนี้จนกระทั่งมันขนานกับแกนหลัก (Principal Axis) ของพื้นผิวตอบสนองที่สร้างขึ้นมา การแปลงรูปอย่างนี้ได้แสดงไว้ในรูป 2.15



รูป 2.15 รูปแบบบัญญัติของแบบจำลองกำลังสอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ผลของการแปลงรูปแบบนี้ จะสามารถทำให้ได้แบบจำลองขึ้นมา ดังสมการ 2.10

$$\hat{y} = \hat{y}_s + \lambda_1 w_1^2 + \lambda_2 w_2^2 + \ldots + \lambda_k w_k^2 \qquad (2.10)$$

โดยที่ $\{w_i\}$ คือตัวแปรอิสระที่ถูกแปลงรูป และ $\{\lambda_i\}$ คือค่าคงตัว สมการที่ 2-10 เรียกว่ารูปแบบบัญญัติของแบบจำลอง นอกจากนั้น $\{\lambda_i\}$ จะหมายถึงค่าเฉพาะ หรือรากลักษณะ (Characteristic Roots) ของ Matrix B

ธรรมชาติของพื้นผิวตอบสนอง สามารถที่จะหาได้จากหยุดนิ่ง และเครื่องหมาย และขนาดของ $\{\lambda_i\}$ อันดับแรก สมมติว่าจุดหยุดนิ่งอยู่ภายใต้บริเวณของการสำรวจ เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองกำลังสอง ถ้า $\{\lambda_i\}$ ทั้งหมดมีค่าเป็นบวก ดังนั้น x_s จะเป็นจุดที่มีผลตอบสนองมากที่สุด แต่ถ้า $\{\lambda_i\}$ ทั้งหมดมีค่าเป็นลบ ดังนั้น x_s จะเป็นจุดที่มีผลตอบสนองน้อยที่สุด และถ้า $\{\lambda_i\}$ ทั้งหมดมีเครื่องหมายแตกต่างกัน ดังนั้น x_s จะเป็นจุดอานม้า นอกจากนี้ พื้นผิวจะมีความชันสูงสุดในทิศทางของ w_i ซึ่งทำให้ $|\lambda_i|$ มีค่าสูงสุด ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 2.19 ซึ่งแสดงระบบที่มี x_s อยู่ที่จุดสูงสุด (λ_1 และ λ_2 มีค่าเป็นลบ) ที่มี $|\lambda_1| > |\lambda_2|$

2.4.3.4 ผลตอบสนองหลายตัว

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวตอบสนองจำนวนมากเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลตอบสนองหลายตัว การพิจารณาผลอบสนองหลายตัวพร้อมๆ กันทำได้โดยการสร้างแบบจำลองของพื้นผิวตอบสนองที่เหมาะสมสำหรับผลตอบแต่ละตัว และหลังจากนั้นจะทำการกำหนดของเงื่อนไขการทำงานที่จะทำให้ผลตอบสนองทั้งหมดมีค่าดีที่สุด หรืออย่างน้อยสุดให้ผลตอบสนองทั้งหมดอยู่ภายใต้ขอบเขตที่ยอมรับได้

2.4.4 การออกแบบการทดลองสำหรับฟิต (Fit) พื้นผิวผลตอบสนอง

การฟิตและการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองจะทำได้ง่ายขึ้น โดยถ้าหากทำการเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมในส่วนนี้ จะขออธิบายเกี่ยวกับแนวทางในการเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมสำหรับการฟิตพื้นผิวผลตอบสนอง โดยเมื่อจะทำการเลือกการออกแบบพื้นผิวผลตอบสนองแล้ว ลักษณะของการออกแบบที่ต้องการบางประการที่ควรพิจารณา มีดังนี้

1. ทำให้เกิดการกระจายที่เหมาะสมของจุดของข้อมูลตลอดบริเวณที่อยู่ในความสนใจ
2. ทำให้สามารถตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง และแลคออฟฟิต (Lack of Fit) ได้

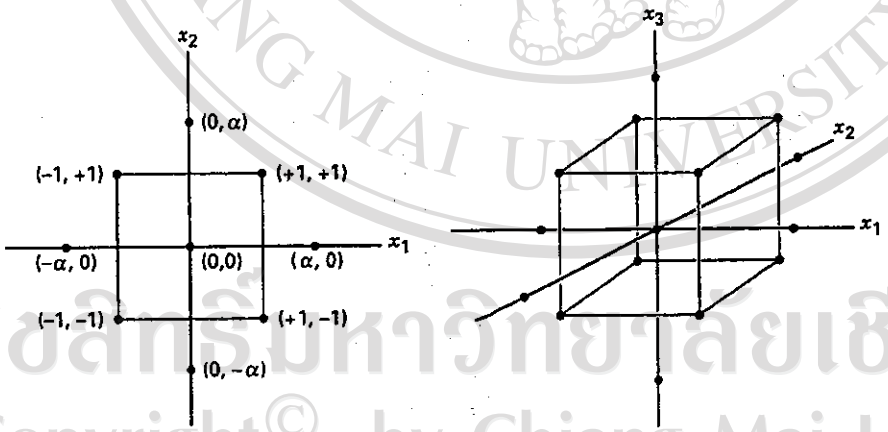
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ทำให้การทดลองสามารถเกิดขึ้นได้ในบล็อก (Block)
4. ทำให้การออกแบบที่มีอันดับ (Order) สูงขึ้นสามารถสร้างขึ้นได้ตามลำดับ
5. ให้ค่าประมาณภายในของความผิดพลาด
6. ไม่ต้องการทดลองเป็นจำนวนมาก
7. ไม่ต้องมีหลายระดับของตัวแปรอิสระ
8. คำนวณพารามิเตอร์ในแบบจำลองได้ง่าย

ลักษณะคุณสมบัติที่ต้องการเหล่านี้ ซึ่งในบางครั้งอาจจะมีความขัดแย้งกันได้ ดังนั้น จึงจะต้องมีการไตร่ตรองอย่างดีก่อนที่จะทำการเลือกการออกแบบที่จะนำมาใช้งาน

2.4.4.1 การออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอันดับสอง

การออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD ซึ่งใช้ในการฟิตแบบจำลองอันดับที่สอง การออกแบบนี้เป็นประเภทหนึ่งของการออกแบบที่นิยมกันมากสำหรับการฟิตแบบจำลองลักษณะเช่นนี้ โดยทั่วไป CCD จะประกอบด้วย 2^k แฟกทอเรียลที่มี n_f การทดลอง, การทดลอง 2^k ในแนวแกนหรือแนวรูปดาว (Star) และ n_c การทดลองที่จุดศูนย์กลางดังรูป 2.16 จะเป็นการแสดง CCD สำหรับ k = 2 และ k = 3 ปัจจัย



รูป 2.16 แสดงการออกแบบส่วนประสมกลางสำหรับสำหรับ k=2 และ k=3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.4.1.1 CCD รูปทรงกลม

ความสามารถในการหมุนเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของรูปทรงกลม (Spherical) นั่นคือ จะเป็นการดีมากถ้าจะใช้เกณฑ์ในการออกแบบเช่นนี้ เมื่อบริเวณที่สนใจอยู่มีรูปทรงกลม อย่างไรก็ตาม การออกแบบที่ดีไม่จำเป็นว่าจะต้องทำให้เกิดความสามารถในการหมุนได้อย่างถูกต้อง100% ในความเป็นจริงแล้ว สำหรับบริเวณของทรงกลมที่สนใจอยู่นั้น ทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับ α หาได้จากการพยากรณ์ความแปรปรวนสำหรับ CCD ซึ่งกำหนดให้ $\alpha = \sqrt{k}$ การออกแบบเช่นนี้เรียกว่า CCD รูปทรงกลม (Spherical CCD) ซึ่งจะกำหนดให้ทุกจุดที่อยู่ในการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล และการออกแบบในแนวแกนให้อยู่บนพื้นผิวของรูปทรงกลมซึ่งมีรัศมีเท่ากับ $\sqrt{k}$

2.4.4.1.2 จุดศูนย์กลางของการทดลองใน CCD

การเลือก α ใน CCD จะถูกกำหนดโดยบริเวณที่สนใจอยู่ เมื่อบริเวณนี้เป็นรูปทรงกลม การออกแบบจะต้องรวมเอาจุดศูนย์กลางของการทดลองเข้าไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อว่าจะทำให้ค่าความแปรปรวนของผลตอบสนองที่พยากรณ์ได้มีเสถียรภาพอย่างเป็นที่ยอมรับได้ ตามปกติแล้วขอแนะนำให้ใช้ 3-5 รัน (Run)

2.4.4.2 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

การออกแบบ แบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) ได้ถูกพัฒนาโดยนายบ็อค และ นายเบ็นห์เค็น (1996) ซึ่งได้พัฒนาประสิทธิภาพการออกแบบการทดลองแบบสามระดับ สำหรับฟิตพื้นผิวตอบสนองที่มีสมการอันดับสอง (second-order) วิธีการในการออกแบบโครงสร้างการทดลองนั้นมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก โครงสร้างการออกแบบการทดลองจะอยู่ในรูปแบบที่สมดุลย์ บล็อคไม่สมบูรณ์ (balance incomplete block design) ตัวอย่างเช่น การออกแบบการทดลองแบบสมดุลย์ บล็อคไม่สมบูรณ์ สำหรับ 3 ทรีทเมนต์ และ 3 บล็อค ซึ่งแสดงได้ดังตาราง 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 แสดงการออกแบบการทดลองแบบสมดุลย์ บล็อคไม่สมบูรณ์ สำหรับ 3 ทรีทเมนต์ และ 3 บล็อก

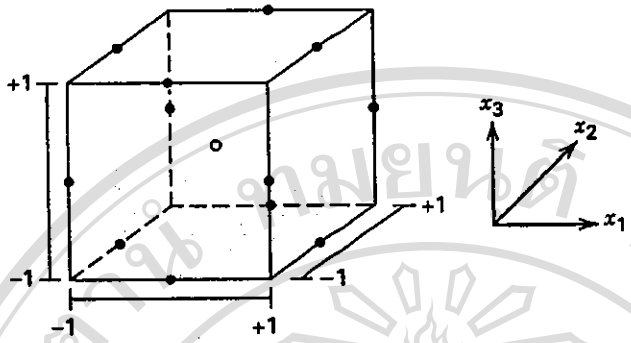
	Treatment		
	1	2	3
Block 1	X	X	
Block 2	X		X
Block 3		X	X

เมื่อนำตาราง 2.2 ไปสร้างแบบการทดลอง จากบล็อคที่ 1 คู่ของทรีทเมนท์ที่ 1 และ 2 ในการเซ็ทค่าพื้นผิวตอบสนอง จะมีตัวแปร x_1 และ x_2 อยู่ในรูปแบบของ 2^2 factorial (Scaling ± 1) ในขณะที่ x_3 จะกำหนดให้อยู่ที่จุดศูนย์กลาง ($x_3 = 0$) ในบล็อคที่ 2 และ 3 ก็จะเป็นเช่นเดียวกัน ซึ่งจะใช้ รูปแบบ 2^2 factorial เพื่อสร้างระดับของคู่ตัวแปร ส่วนตัวแปรที่เหลือจะกำหนดให้ เท่ากับ 0 และแถวสุดท้ายจะกำหนดค่าตัวแปรแต่ละตัวให้อยู่ที่จุดศูนย์กลาง เรียกว่า vector of center runs จากผลของ Box-Behnken Design ที่ k = 3 แสดงได้ดังตาราง 2.3

ตาราง 2.4 แสดงการออกแบบการทดลอง แบบ Box-Behnken Design ที่มีสามตัวแปร

Run	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



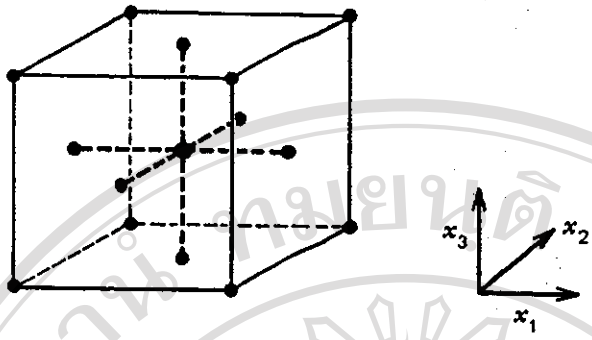
รูป 2.17 แสดงการออกแบบ แบบ Box-Behnken with a Center Point

จากรูปทางเรขาคณิตของการออกแบบแสดงให้เห็นในรูป 2.17 สังเกตว่า การออกแบบ แบบบ็อกซ์-เบห์นเคนจะเป็นการออกแบบรูปทรงกลม ที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ นอกจากนี้ การออกแบบ แบบบ็อกซ์-เบห์นเคนไม่ได้รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัวเป็นตัวกำหนด การกระทำเช่นนี้เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนรูปลูกบาศก์ คือ การรวมของปัจจัยระดับ (Factor-Level Combination) ที่แพงมาก หรือเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดในด้านกายภาพของกระบวนการ

2.4.4.3 บริเวณที่สนใจแบบคิวบอยดัล (Cuboidal)

มีเหตุการณ์มากมายที่บริเวณที่อยู่ในความสนใจเป็นแบบคิวบอยดัล (Cuboidal) แทนที่จะเป็นรูปทรงกลม ในกรณีเช่นนี้การออกแบบที่เรียกว่า เฟซ-เซ็นเตอร์เซ็นทรัลคอมโพสิท (Face-Centered Central Composite) หรือเฟซ-เซนเตอร์คิว (Face-Central Cube) ที่มี $\alpha = 1$ ซึ่งมีพัฒนามาจากส่วนประสมกลาง จะเป็นการออกแบบที่มีประโยชน์อย่างมาก การออกแบบนี้วางจุดดาว (Star) หรือจุดในแนวแกน (Axial) อยู่บนจุดศูนย์กลางของหน้าของรูปทรงลูกบาศก์ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 สำหรับ k = 3 การออกแบบนี้ได้ถูกนำมาใช้เนื่องจากการออกแบบนี้ต้องการเพียง 3 ระดับของแต่ละปัจจัยเท่านั้น และการเปลี่ยนระดับปัจจัยทำได้ยากในทางปฏิบัติอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.18 การออกแบบ แบบเฟซเซนเตอร์ (Face-Centered) ส่วนประสมกลางสำหรับ k=3

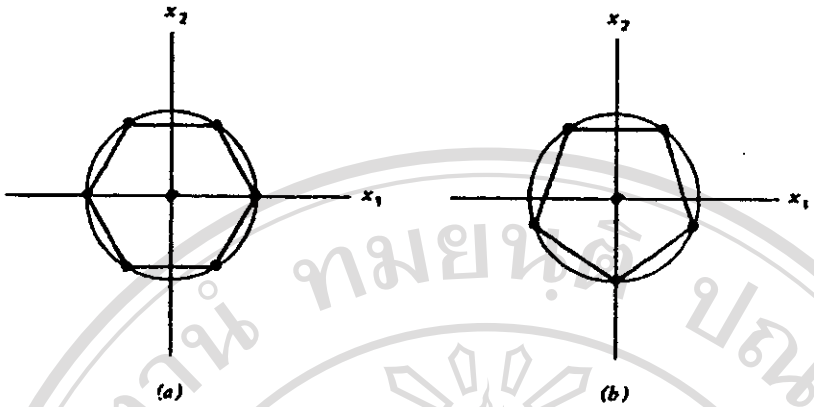
การออกแบบ แบบ Face-Central Cube ไม่ต้องการใช้จุดศูนย์กลางเป็นจำนวนมาก เหมือนกันกับ CCD รูปทรงกลม ในทางปฏิบัติ $n_c = 2$ จะพอเพียงที่จะทำให้ความแปรปรวนของการพยากรณ์อยู่ในระดับที่ดีตลอดบริเวณของการออกแบบ ในบางครั้งทำการทดลองที่จุดศูนย์กลางเป็นจำนวนมากขึ้น เนื่องจากต้องการให้ค่าประมาณความผิดพลาดของการทดลองเป็นที่ยอมรับได้

2.4.4.4 การออกแบบชนิดอื่น

ยังมีการออกแบบพื้นผิวผลตอบสนองอีกเป็นจำนวนมากที่อาจจะเป็นประโยชน์ในทางปฏิบัติบางโอกาสสำหรับกรณี 2 ตัวแปร สามารถใช้การออกแบบที่เกิดจากจุดที่มีระยะห่างเท่ากันบนวงกลม และการออกแบบลักษณะนี้จะทำให้เกิดรูปหลายเหลี่ยม (Polygon) เนื่องจากจุดของการออกแบบนี้มีระยะห่างจากจุดกำเนิดเท่าๆ กัน การจัดวางเช่นนี้ถูกเรียกว่า การออกแบบรัศมีเท่ากัน (Equiradial Design)

สำหรับ k = 2 การออกแบบรัศมีเท่ากันที่สามารถหมุนได้ จะหาได้จากการรวมจุด $n_c \geq 5$ จุดที่มีระยะห่างเท่ากันบนวงกลมที่มีจุด $n_1 \geq 1$ จุดที่ศูนย์กลางของวงกลม การออกแบบที่สำคัญสำหรับ k = 2 คือ รูปห้าเหลี่ยม และรูปหกเหลี่ยม การออกแบบนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.19

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.19 การออกแบบรัศมีเท่ากันสำหรับ 2 ตัวแปร (a) หกเหลี่ยม, (b) ห้าเหลี่ยม

เหล่านี้ล้วนเป็นรูปแบบการออกแบบการทดลองชนิดต่างๆ ที่มีความเหมาะสม และความแม่นยำในการวิเคราะห์ข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องรู้จักเลือกชนิดของการออกแบบการทดลอง ให้เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ รวมถึงวิธีการเก็บข้อมูลที่สอดคล้องกับการออกแบบการทดลองเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำในการนำไปประยุคต์ใช้ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved